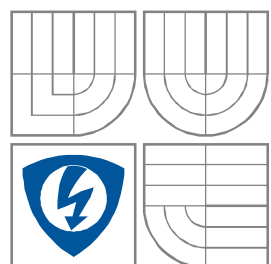


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS**

MĚŘENÍ POHYBU SRDCE POMOCÍ AKCELEROMETRU

MEASUREMENT OF MOVEMENT ON THE HEART

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Tomáš Soukup

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Martin Švrček

BRNO, 2008

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Tomáš Soukup
Bytem: Lípy 344, Čechy pod Kosářem, 798 58
Narozen/a (datum a místo): 25. února 1986 v Prostějově

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☐ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Měření pohybu srdce pomocí akcelerometru

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Martin Švrček

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- ☐ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☐ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 6. června 2008

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Měření pohybu srdce pomocí akcelerometru jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 6. června 2008

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Švrčkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 6. června 2008

.....
podpis autora

Abstrakt

Tato Bakalářská práce popisuje měření pohybu srdce pomocí akcelerometru. Systém je složen z mikrokontroleru Freescale MC68HC908GP32 a akcelerometru Freescale MMA2260D. Mikrokontroler je řídicí část zařízení. Akcelerometr snímá pohyb, který dodává řídicímu mikrokontroleru. Mikrokontroler zobrazuje snímaný pohyb na display. Znovu změřený pohyb je opět zobrazen na display, přes řídicí mikrokontroler.

Abstract

This bachelor's thesis is described measurement of movement on the heart. System is composed by microcontroller Freescale MC68HC908GP32 and accelerometer Freescale MMA2260D. The microcontroller is direct element of application. The accelerometer is scanner of movement, which increases movement to direct microcontroller. The microcontroller depicts of measurement of moment in the display. Repeated measurement movement is return depicts in the display, over direct microcontroller.

Klíčová slova

Pohyb srdce, snímaný pohyb, mikrokontroler, řídicí zařízení, freescale, akcelerometr, display

Keywords

Movement of the heart, scanner of movement, microcontroller, direct element, freescale, accelerometer, display

Bibliografická citace: SOUKUP, T. *Měření pohybu srdce pomocí akcelerometru: bakalářská práce*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2008. 40 s., 2 příl.

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Návrh systému	9
2.1	Popis systému.....	9
2.2	Připojená zařízení.....	10
3	Použité komponenty	11
3.1	Mikrokontroler	11
3.1.1	Historický vývoj mikrokontrolerů	11
3.1.2	Základní vlastnosti mikrokontroleru.....	11
3.1.3	Výběr a popis mikrokontroleru.....	12
3.1.4	Rozložení pinů mikrokontroleru	13
3.1.5	Popis základních vlastností a výhod jednotlivých bloků.....	13
	mikrokontroléru	13
3.1.6	Použití mikrokontroleru v zapojení s PC.....	15
3.1.7	Monitor ROM	15
3.1.8	Rysy monitor ROM.....	15
3.1.9	Popis funkce monitor ROM.....	16
3.1.10	Způsob vstupu monitoru	16
3.2	Akcelerometr	18
3.2.1	Výběr akcelerometru.....	18
3.2.2	Popis akcelerometru MMA2260D.....	18
3.2.3	Princip funkčnosti MMA2260D	18
3.2.4	Rozložení pinů akcelerometru	19
3.2.5	Vybrané parametry akcelerometru.....	20
3.2.6	Elektrický výboj (ESD).....	21
3.2.7	Propojení akcelerometru MMA2260D a mikrokontroleru	22
	MC68HC908GP32.....	22
3.3	Převodník napět'ových úrovní.....	23
3.3.1	MAX232 nahrazen za MC145407	23
3.3.2	Zapojení vhodné pro MAX232.....	24
3.4	Invertory obvodu MC74HC125	25
3.4.1	Vnitřní uspořádání MC74HC125.....	25
3.5	Propojení mikrokontroleru s PC.....	27
3.5.1	RS-232	27
3.5.2	Převodník USB/RS-232	28
4	Návrh ovládacího softwaru.....	30

4.1	Řešení komunikace.....	30
4.1.1	A/D převodník.....	30
4.1.2	Software A/D převodníku	31
4.1.3	Doba A/D převodu.....	33
4.1.4	Nepřetržitý A/D převod	33
4.2	Komunikační software	34
4.2.1	Řídící software.....	34
4.2.2	Popis vytvořeného softwaru.....	35
4.3	Zobrazení komunikace	36
4.3.1	Segmentový LED display	36
5	Závěr	38
6	Použitá literatura	39

1 Úvod

Měření pohybu srdce pomocí akcelerometru je problematika a řešení nejen Bakalářské práce, ale její vypracování závisí a navazuje na předešlé vypracované projekty. Jsou to práce Semestrální projekt 1 a Semestrální projekt 2, které se zabývaly zejména shromažďováním informací ke snadnějšímu a dokonalejšímu zpracování celkové Bakalářské práce.

Zejména v prvním Semestrálním projektu jsem se zabýval a shromažďoval některé teoretické informace o možnosti měření pohybu akcelerometrem a jeho následnou komunikaci a zapojení s mikrokontrolerem, kdežto již v druhém Semestrálním projektu jsem se zabýval samotným návrhem a zapojení pro komunikaci akcelerometru, mikrokontroleru a jejich dílčích součástí a zařízení. Tyto informace a následné zapojení zařízení mi napomohly k další možné práci skloubit všechny tyto projekty v jeden celek. Tímto celkem je samotná Bakalářská práce, která se zabývá možností měření pohybu izolovaného srdce, představující akcelerometr, který tento pohyb zároveň snímá a pomocí A/D převodníku je zpracován naprogramovaným softwarem přes zapojený hardware z předchozích projektů. Tímto způsobem je umožněno nadále zpracovávat, využívat a třeba i zobrazovat zaznamenaný pohyb.

Samozřejmostí vypracování Bakalářské práce je celková úprava vypracování zadání, jakožto například zhotovení celkového zapojení do úhledné formy pro snadnou manipulaci se zařízením, veliký požadavek a nutností zpracování projektu je jeho celková velikost. Jelikož celkový projekt představuje měření pohybu srdce je zapotřebí, aby rozměry zařízení byly co nejmenší, zejména tak v dnešní době miniaturizace.

Významnou součástí zařízení je také zhotovený a naprogramovaný software, jelikož zařízení představuje měření pohybu srdce, měl by tento program plně splňovat svou funkci, stabilně zpracovávat zaznamenané informace a snad nejdůležitější podmínkou pro kvalitní funkci je velmi rychlá komunikace při převodu zaznamenaných informací.

2 Návrh systému

2.1 Popis systému

Pro samotné řešení zadané práce a zapojení celého zařízení projektu je zapotřebí vhodně zvolit a vybrat jednotlivé součástky pro zapojení. Zejména potom podle jejich náležitých vlastností a parametrů. Celý projekt je složen z několika jednotlivých bloků, které spolu vzájemně spolupracují a komunikují, hlavně také pomocí těchto vhodně zvolených součástí. Blokové schéma celého složení zapojení je uveden na **obr.1**. Toto zobrazení je základní zapojení pro snímání pohybu pomocí akcelerometru a následnou komunikaci s PC, jakožto určeném hlavně pro naprogramování zakresleného bloku mikrokontroleru. Zapojení je složeno z bloků představující vyvolaný pohyb, dále pak senzor-akcelerometr, který má za úkol tento pohyb snímat. Výstup akcelerometru je dán několika úrovní napětí, to odpovídá síle akcelerace, kde výstupní napětí převedené přes A/D převodník do digitální úrovně zaznamenává mikrokontroler pomocí vhodně naprogramovaného softwaru pomocí bloku vnějšího PC. Tento signál je dále zpracován a mikrokontrolerem zasílán například k dalšímu zobrazovacímu zařízení, kde je již možné signál dále zpracovat uživatelem. Externí připojený počítač komunikuje s mikrokontrolerem a naopak pomocí převodníku úrovní. Je zde zaveden z důvodu snadné a bezproblémové komunikaci.

Zobrazené blokové schéma je uvedeno bez následujícího zobrazovacího zařízení snímaného a zpracovaného signálu. Podrobnějším popisům jednotlivých bloků budou věnovány následující kapitoly.



Obr. 1 Blokové schéma zapojení

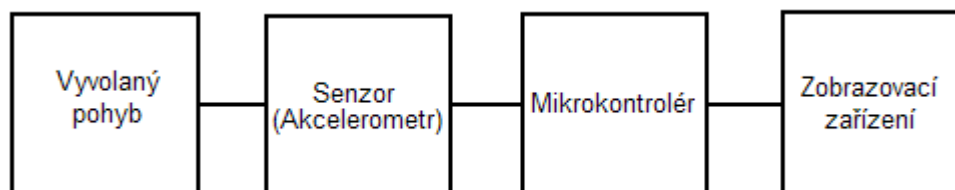
Za nejdůležitější části zobrazeného blokového schématu můžeme považovat části senzor-akcelerometr a také mikrokontroler, jsou to také nejdůležitější části zapojení, na které jsou kladeny různé podmínky, parametry, vlastnosti, dílčích použitých součástí a musí na ně být brán ohled. Z tohoto důvodu je nutné tyto části vhodně vybrat z možných nabízených na trhu či v daných katalozích různých světových firem. Tímto výběrem podle zadaných okolností a podmínek jsem se zabýval při řešení prvního Semestrálního projektu a vybral jsem součástky od firmy Freescale. Uvedené názvy jsou, pro mikrokontroler jsem zvolil typ MC68HC908GP32 a jako vhodný akcelerometr jsem si vybral typ MMA2260D.

Výběr těchto součástí byl ovlivněn již zmiňovanými potřebnými vlastnostmi a svými danými parametry, dále byl také brán ohled na cenu volených součástí a hlavně také na dostupnost při koupi nebo možnost objednání.

2.2 Připojená zařízení

Jednou z hlavních a důležitých součástí jsou také mimo akcelerometr a mikrokontroler zařízení, která jsou externě připojena k zařízení, jak trvale tak i k možnému dočasnému provozu a následné komunikaci. Mimo stálých připojených zařízení, jako jsou například převodník MAX 232, rozhraní MC74HC125, ale i různé napájecí obvody, potřebný vnitřní oscilátor, tak i zobrazovací zařízení, které jsem pro tuto část zvolil 7-segmentový display.

V případě již naprogramovaného mikrokontroleru a zpracování snímaného signálu není zapotřebí užívat a mít připojen vnější PC, tím se celé zapojení podstatně zmenší, a je s ním možné lépe manipulovat a zkoumat tak námi měřený pohyb srdce. Z blokového zapojení, již bez použití vnějšího PC, zato následném připojení bloku pro zobrazovací zařízení je vidět na **obr. 2**. Z daných úrovní výstupního signálu od minimálních po maximální hodnoty bude následně zobrazovací zařízení dostávat úměrný signál od mikrokontroleru a pomocí něj pak můžeme zobrazit signál v těchto daných úrovních, pomocí nich také budeme moci určit s jakou akcelerací snímá senzor vyvolaný pohyb izolovaného srdce.



Obr. 2 Blokové schéma zapojení se zobrazovacím zařízením

Pro zvolení zařízení k zobrazení výstupního a zpracovaného signálu ze zařízení je celá řada možných displayů, např. LCD display, či můžeme dále tento výstupní signál znovu přenést do vnějšího připojeného počítače a zde ho následně zkoumat, či podle potřeby upravovat. Tato možnost by byla realizovatelná snad při zpracování Diplomové práce a snad i s víceosým snímáním akcelerometru. Ale z důvodu, že v tomto zařízení je zvolen akcelerometr MMA2260D, což je senzor se snímáním akcelerace jedné osy, zůstal jsem u možnosti připojení zobrazovacího zařízení za použití 7-segmentového displeje. Za předpokladu nenáročného zařízení a dostačujícího zaznamenání a zobrazení námi naprogramovaných úrovní výstupního signálu převedeného přes blok mikrokontroleru. Při výběru 7-segmentového displeje byl brán hlavně ohled na finanční náklady zařízení, jelikož ve srovnání s již zmiňovaným LCD displayem vychází podstatně k příznivějším nákladům.

Jedno z dalších připojovacích zařízení, které je ale součástí zařízení je považováno a nezapomenuto na napájecí a připojovací obvody pro správné napájení veškerých součástí a pro možnost bezchybné a bezpečné komunikace. Jednotlivé zobrazené bloky schématu budou opět samostatně popsány a rozebrány v následujícím textu zpracování Bakalářské práce, pro dostatečnou informaci budou samozřejmě uvedeny i potřebné parametry pro napájení a komunikaci zvolených součástí projektu a zařízení.

3 Použité komponenty

3.1 Mikrokontroler

3.1.1 Historický vývoj mikrokontrolerů

Mikrokontrolery jsou nabízeny ve více než třiceti variantách a ve 28 typech pouzder od malých 16 vývodových DIP po velká 64 vývodová QFP pouzdra. Stále se vyvíjejí a uvádějí na trh nové typy [1]. Jedná se především o rozšíření řadičů různých sběrnic jako jsou CAN a USB. Rozšíření pro řízení různých typů pohonů (implementace desetibitových AD převodníků, PWM). S masivním nástupem bezdrátových technologií se uplatní i typy s integrovaným PLL umožňujícím mikrokontroleru vysílat v pásmu 440 MHz.

3.1.2 Základní vlastnosti mikrokontroleru

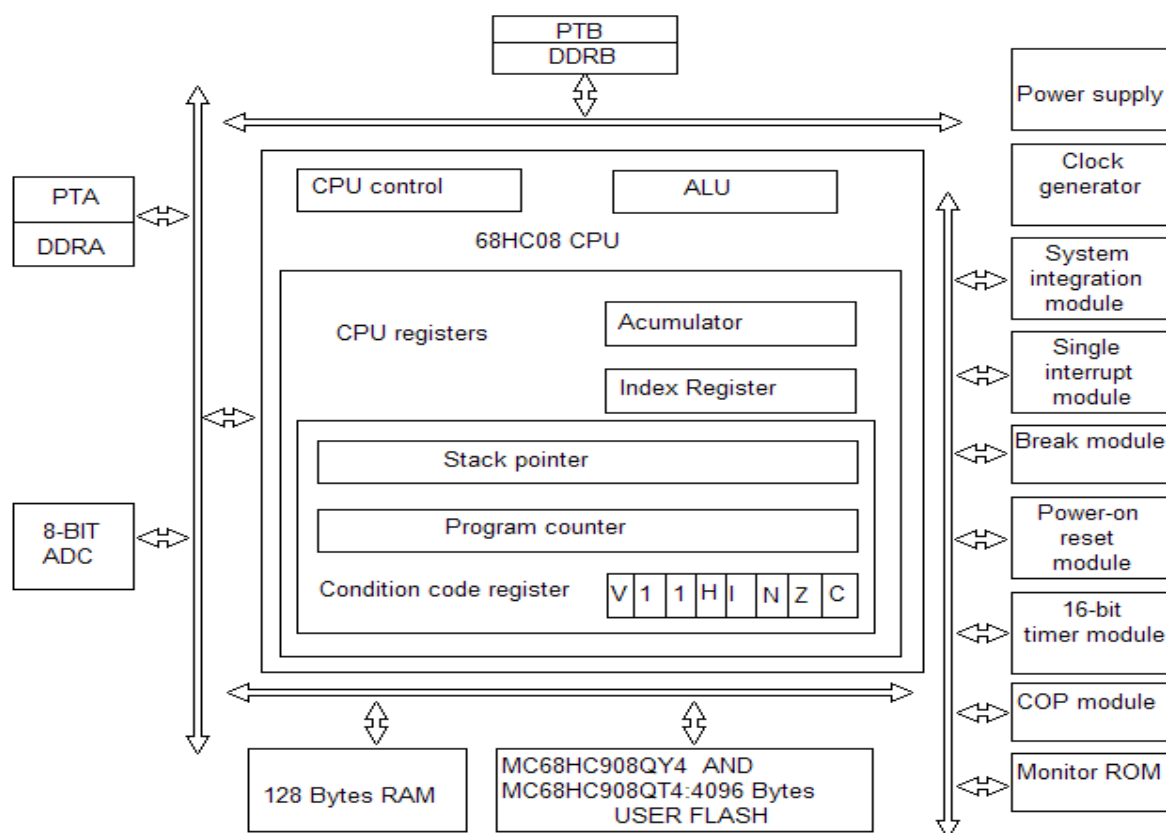
Výběr několika základních vlastností mikrokontroléru MC68HC908GP32, pro ukázkou je vybráno jen pár nejdůležitějších:

- má architekturu typu von Neumann, tj. data i program jsou umístěny ve stejném paměťovém prostoru
- výkonné jádro 68HC08 optimalizované pro překladače jazyka C a pracující v rozmezí napájení 2,7 až 5,5V
- maximální kmitočet interní sběrnice 8 MHz
- 4 kB FLASH paměti, programovatelné přímo v aplikaci
- 128 B paměti RAM
- 8bitový A/D převodník (jeden převod za 17ms) s čtyřkanálovým multiplexorem
- kontrola správné funkce programu, detekce nízkého napájecího napětí, detekce neplatné instrukce, detekce neplatné adresy
- dvoukanálový IC/OC/PWM čítač/časovač
- 6 vstupů přerušení od klávesnice
- periferie jsou paměťově mapované
- kód kompatibilní s jádrem 68HC05
- vnitřní generátor hodin s taktováním CPU na 13,8 MHz, tedy na 3,2 MHz na sběrnici

- možnost externího taktování až 32 MHz (na sběrnici 8 MHz)
- dvoukanálový IC/OC/PWM čítač/časovač
- 6 vstupů přerušení od klávesnice
- 6 vstupně výstupních vývodů u typu QT, 14 u QY
- velmi malý příkon, plně statická funkce (pracuje již od 0Hz hodinového taktu), několik úsporných módů

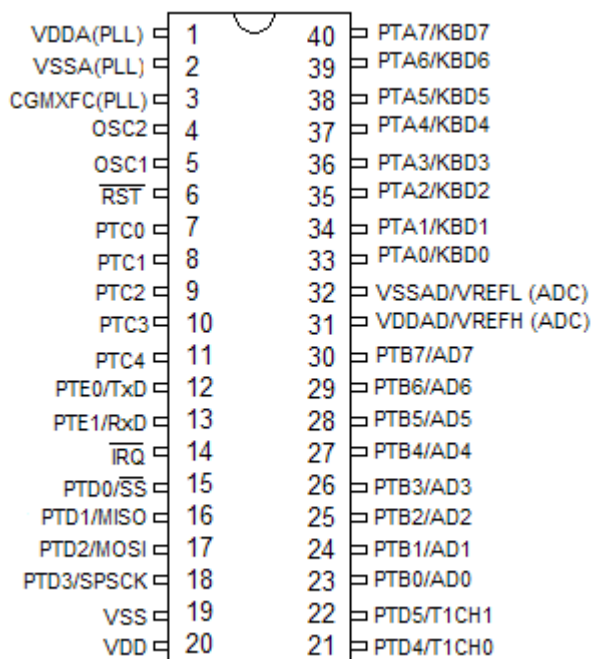
3.1.3 Výběr a popis mikrokontroleru

Pro návrh i zapojení je mikrokontroler nedílnou součástí, jeho výběrem, vlastnostmi a parametry jsem se zabýval mezi prvními úkoly. Pro vlastní práci jsem vybral již zmiňovaný mikrokontroler MC68HC908GP32. Jedná se o jednočipový mikrokontrolér řady 68HC08, struktura jeho jádra vychází z jednočipového mikropočítače 6801. Toto jádro bylo oproti mikropočítači 6801 poněkud zjednodušeno (chybí druhý střadač) [1], na druhé straně bylo doplněno o instrukce pro práci s bity v paměti RAM a v registrech periférií. Na **obr. 3** je uvedeno blokové schéma uspořádání jednotlivých částí mikrokontroleru MC68HC908GP32.



Obr. 3 Blokové schéma mikrokontroleru MC68HC908GP32

3.1.4 Rozložení pinů mikrokontroleru



Obr. 4 Rozložení pinů mikrokontroleru

Na **obr. 4** jsou zobrazeny a popsány všechny obsažené piny mikrokontroleru MC68HC908GP32, tento typ obsahuje právě 40 pinů. Vybrané piny neplní jen jednu funkci, je možné tyto piny použít pro více možností, které vyžaduje návrh zapojení.

3.1.5 Popis základních vlastností a výhod jednotlivých bloků mikrokontroléru

CPU (Central Processor Unit)-kompatibilita s rodinou 68HC05, 16bitový Stack Pointer, 16bitový index registr, až 8 MHz interní sběrnice, možnost adresace 64 kB, 16 adresovacích módů, přesuny z paměti do paměti bez použití střadače, rychlé násobení (8x8) a dělení (16/8), modulární architektura, režimy nízkého příkonu.

Systém Integration Module (SIM)-kontroluje CPU a časování, podpora až 24 typů přerušení, časování interní sběrnice, řízení resetu, řízení přerušení.

Low-Voltage Inhibit (LVI)-modul zajišťuje monitorování napájecího napětí, ovládá nulovací obvod, ovlivňuje spotřebu obvodu, nastavení STOP módu.

Konfigurační registr (CONFIG)-jednotlivé bity registru ovládají COP modul, STOP instrukci, LVI modul, nastavení nízkopříkonových módů.

Input/Output ports (I/O)-k dispozici je 6 obousměrných vývodů u typu QT, 14 u typu QY, které tvoří port A, u typu QY ještě port B. Každý vývod může být nastaven jako vstupní nebo výstupní, porty mají softwarově nastavitelné „pull-up“ rezistory. Všechny vývody mohou dodávat či spotřebovávat proud až 10 mA.

Computer Operating Property Module (COP)-součástí modulu je nezávislý čítač, který generuje interní nulování po přetečení. Jiným pojmenováním tohoto obvodu je hlídacím obvod Watchdog. Termínem hlídacím obvodu obvykle označujeme obvody, které dohlížejí na správný běh programu. Hlídacím obvod Watchdog je časovač, který je odstartován bezprostředně po resetu mikropočítače nebo někdy později z programu. Jeho časová konstanta může být pevně svázána s hodinami mikropočítače, nebo může být nějakým způsobem nastavena (např. Programem). Po vypršení časového limitu časovač vyvolá automatický reset, pokud ho ovšem dříve nějakým podnětem (signálem, hodnotou zapsanou do řídicího registru, speciální instrukcí) nevynulujeme, tj. nevrátíme do počátečního stavu. Využití hlídacím obvodu Watchdog je založeno na jednoduché myšlence-do programu jsme schopni vložit příkazy nulující časovač hlídacím obvodu Watchdog tak, že při jeho správné funkci nedojde k vypršení časového limitu. Porucha, způsobená např. náhodnou změnou dat v paměti, nebo chyba v programu, například neošetřená určitá kombinace vstupních dat, často vyvolá změnu chování programu. V řídicích systémech lze sice některé chyby tolerovat, když nevedou k problémům s řízením systému, jiné chyby však nelze tolerovat. Je to např. zacyklení programu, chybné zamaskování přerušovacího signálu nebo překonfigurování periferních obvodů. A právě v těchto případech je obvod Watchdog užitečný. Program v nekonečném cyklu či program, který není pravidelně aktivován vnějšími podněty nevynuluje do vypršení časového limitu časovač obvodu Watchdog, a ten program z nežádoucího stavu vyvede resetem. Je to vlastně technická implementace toho, co např. provádíme u počítače PC, který se v důsledku náhodné chyby technických prostředků, operačního systému či aplikačního programu „zakousne“.

External interrupt (IRQ)-modul zajišťuje obsluhu maskovaného přerušení. Vývod IRQ má interní pull-up rezistor, nastavitelnou citlivost na hranu, na úroveň či kombinovaně, nastavitelná hystereze, automatické potvrzení přerušení.

Keyboard Interrupt Module (KBI)-modul obsahuje 6 nezávislých, maskovatelných externích přerušení, určených například pro obsluhu klávesnice. Možnosti nastavení stejné jako u IRQ, ukončení nízkopříkonových režimů.

Timer Interface Module (TIM)-tvoří dvoukanálový časovač umožňující také načítání impulsů s volitelnou citlivostí, pulsní šířkovou modulací PWM a mnoho jiných možností zpracování a generování impulsů.

Analog to Digital Converter (ADC)-integrovaný čtyřkanálový, 8bitový analogově digitální převodník, jednoduchý převod či kontinuální, volitelná rychlost převodu, vyvolání přerušení po ukončení převodu.

Monitor ROM (MON)-tento monitor umožňuje kompletní testování mikroprocesoru přes jednodrátovou sběrnici z externího počítače. Využívá standardní formát NRZ, RS232,

kontroluje bezpečnost paměti FLASH, dokáže vykonávat program v RAM nebo FLASH paměti, obsahuje rovněž programovací rutiny pro paměť FLASH.

Break Module (BRK)-modul umožňuje tzv.“In Circuit Debugging“, tedy ladění přímo v aplikaci. Při vykonávání instrukce na nastavené adrese je vyvoláno speciální přerušení, jehož obsluha je pak použita při ladění programu.

SCI Rozhraní (SCI)- vybraný mikroprocesor používá pro komunikaci i synchronní /asynchronní sériové linky.

3.1.6 Použití mikrokontroleru v zapojení s PC

Pro komunikaci mikrokontroleru s počítačem je zapotřebí speciálního programu umístěného v pevné paměti, tento speciální program je nazýván monitorem, v našem případě ROM. Monitor se stal operačním systémem různých jednodeskových mikropočítačů, umožňoval vložení programu, většinou přímo ve strojovém kódu, do paměti a jeho spuštění. Hlavně tento monitor umožňuje kompletní testování mikroprocesoru přes jednodrátovou sběrnici z externího počítače. Využívá standardní formát NRZ, RS232, kontroluje bezpečnost paměti FLASH, dokáže vykonávat program v RAM nebo FLASH paměti, obsahuje rovněž programovací rutiny pro paměť FLASH.

3.1.7 Monitor ROM

Tato část popisuje monitor ROM a způsob vstupních metod monitoru. Monitor ROM dovoluje dokončit testování mikroprocesoru přes jednodrátové rozhraní s hostujícím počítačem [3]. Monitorového způsobu vstupu může být dosaženo bez užití vysokého testu napětí, V_{TST} , tak velkého jak vektorové adresy \$FFFF jsou prázdné, tedy snížení požadavku hardwaru pro obvodové programování.

3.1.8 Rysy monitor ROM

Rysy monitoru ROM zahrnují:

- běžný způsob použití funkce pinů
- jeden pin přiřadí sériovou komunikaci mezi monitorem ROM a externím počítačem
- realizace kódu v RAM nebo FLASH paměti
- standardní stopu/místo non-return-to-zero (NRZ) komunikátora s externím počítačem

- FLASH paměť bezpečnostní hlavní částí
- Zvýšení PLL (phase-locked loop) volby, aby umožnila použít vnější frekvenci 32,768 KHz krystalu k výrobě vnitřní frekvence 2,4576 MHz
- 307 bytů monitoru ROM velikosti kódu (\$FE20 do \$FF52)
- způsob vstupu monitoru bez vysokého napětí, V_{TST} , jestliže je nulovací vektor prázdný (\$FFFE a \$FFFF obsahuje \$FF)
- standardní způsob vstupu monitoru při vysokém napětí, V_{TST} , je přiloženo k \overline{IRQ} .

3.1.9 Popis funkce monitor ROM

Monitor ROM přijímá a provádí příkazy z externího počítače. Obvod užívaný ke způsobu vstupu monitoru a komunikaci s externím počítačem je možné provést přes propojovací mezičlánek RS-232. Jednoduchý monitor příkazů může postupně vyhledat nějaké paměťové adresy. V monitorovém způsobu může mikroprocesor provést zavedení kódu do RAM paměti, zatímco více mikroprocesorových pinů zadrží ostatní operační funkce. Veškerá komunikace mezi externím počítačem a mikroprocesorem je vedena přes pin PTA0. Úroveň přesunutí a mnohonásobné propojení je požadováno mezi PTA0 a externím počítačem. PTA0 je používáno v instalování - OR konfiguraci a požaduje snížení odporu. Monitorový kód je aktualizován z předchozích verzí monitorového kódu aby PLL generoval hodinový signál, připravený nulový vektor je prázdný, když je zařízení časováno podle nízké frekvence krystalu [3]. Toto připojení, které je umožněno když \overline{IRQ} je drženo mimo reset, je určené k podpoře sériové komunikace/programování v 9600 baud v monitorovém způsobu zvýšení vnější frekvence (předpokládaných 32,768 KHz od fixní částky k výrobě žádoucí vnitřní energie (2,4576 MHz). Od tohoto rysu je to umožněno jen když \overline{IRQ} je drženo mimo reset, toho nemůže být využíváno když nulový vektor není prázdný, protože vstup do monitoru v tomto případě příkazuje V_{TST} na \overline{IRQ} .

3.1.10 Způsob vstupu monitoru

Pro způsob vstupu monitoru jsou určeny pinové podmínky. Tak jako je zde Specifikované, vstup monitoru a provedená komunikace může být povolena v připravených 9600 baudů pro jednu z následujících podmínek:

1. Jestliže \$FFFE a \$FFFF neobsahuje \$FF (programovací pozice):
 - vnější časování je 4,9152 MHz s PTC3 nebo 9,8304 MHz s PTC3.
 - $\overline{IRQ} = V_{TST}$ (PLL vypnuto)
2. Jestliže \$FFFE a \$FFFF obsahuje \$FF (mazací pozice):
 - vnější časování je 9,8304MHz

- $\overline{\text{IRQ}} = V_{\text{DD}}$ toto může být provedeno skrz vnitřní IRQ prudké zastavení, PLL vypnuto)

3. Jestliže \$FFFE a \$FFFF obsahuje \$FF (mazací pozice):

- vnější časování je 32,768 KHz (krystal)

- $\overline{\text{IRQ}} = V_{\text{SS}}$

Jestliže V_{TST} je přiloženo $\overline{\text{IRQ}}$ a PTC3 je nízké v způsobu vstupu monitoru (nad podmínkou 1), frekvence sběrnice rozdělena na dva příkony časového signálu. Jestliže PTC3 je vysoké s V_{TST} přiloženém k $\overline{\text{IRQ}}$ v způsobu vstupu monitoru, frekvence sběrnice bude rozdělena na čtyři příkony časového signálu. Držení pinu PTC3 nízké, způsob vstupu monitoru bude rozděleno na 2 stupně okruhu vnějšího oscilátoru, jen když bude V_{TST} přiloženo k $\overline{\text{IRQ}}$. V tomto okamžiku, frekvence CGMOUT je stejná s frekvencí CGMXCLK a OSC1 okamžitě dodává signál vnitřní sběrnici hodinovým signálem. V tomto případě signál OSC1 musí mít v pořádku 50% cyklus maximální frekvence sběrnice. Jestliže monitorový způsob vstupuje bez vysokého napětí na IRQ (za předpokladu podmínek 2 nebo 3, kde přiložené napětí je buď V_{DD} nebo V_{SS}), poté všechny porty C pinu přikazují a předpokládají, včetně PTC3 frekvence dělitelné volby, nejsou účinné. To je zmenšení obvodových příkazů, když vykonává obvodové programování.

POZNÁMKA: Jestliže nulový vektor je prázdný a monitor je vstoupen, čip bude vidět doplňkový nulový cyklus po počátečním POR nulování. Jedenkrát bude část programována, tradiční metody přiložení napětí, V_{TST} , k $\overline{\text{IRQ}}$ musí být užity ke způsobu vstupu monitoru [3]. Monitorový způsob je stavěn na těchto podmínkách, když je oslabena COP modulace.

- jestliže způsob vstupu monitoru byl výsledkem prázdného nulového vektoru, (za předpokladu podmínek 2 nebo 3), COP je vždy oslaben nemající vliv na stav IRQ nebo $\overline{\text{RST}}$.
- Jestliže způsob vstupu monitoru byl s V_{TST} na $\overline{\text{IRQ}}$, (za předpokladu podmínky 1), potom COP je oslabeno tak dlouho jako V_{TST} je přiloženo buď k $\overline{\text{IRQ}}$ nebo $\overline{\text{RST}}$.

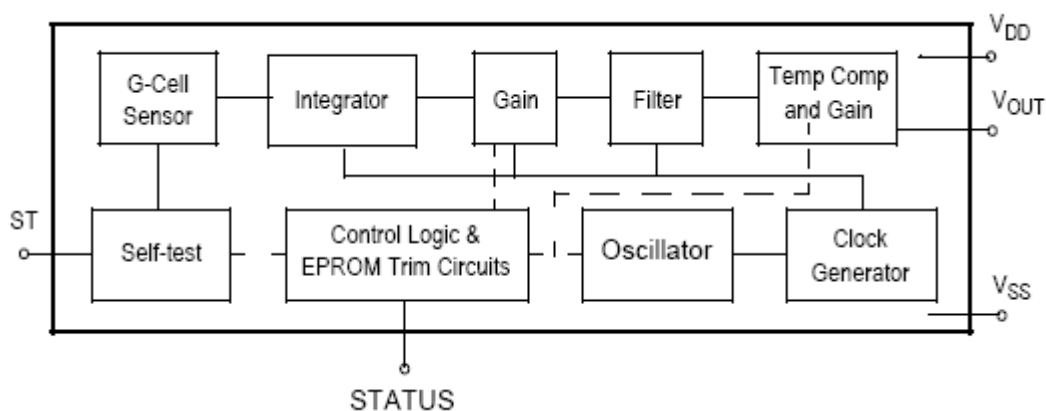
3.2 Akcelerometr

3.2.1 Výběr akcelerometru

Stejně jako mikrokontroler je i akcelerometr jednou z hlavních součástí projektu, snad i tou nejdůležitější, na které vše záleží. Výběrem akcelerometru jsem se zabýval také již v Semestrálním projektu 1, podle vhodných parametrů a vlastností jsem nakonec vybral a použil typ akcelerometru MMA2260D.

3.2.2 Popis akcelerometru MMA2260D

MMA2260D je určen jak pro měření dynamických zrychlení (např. vibrací) tak pro měření statických zrychlení (např. gravitačního zrychlení). Na **obr. 5** je zobrazeno blokové schéma, popisující funkčnost akcelerometru. Tento akcelerometr má pouze analogový výstup (výstupní svorky), proto bude nutno použít pro zapojení a správnou komunikaci externí A/D převodník [4].

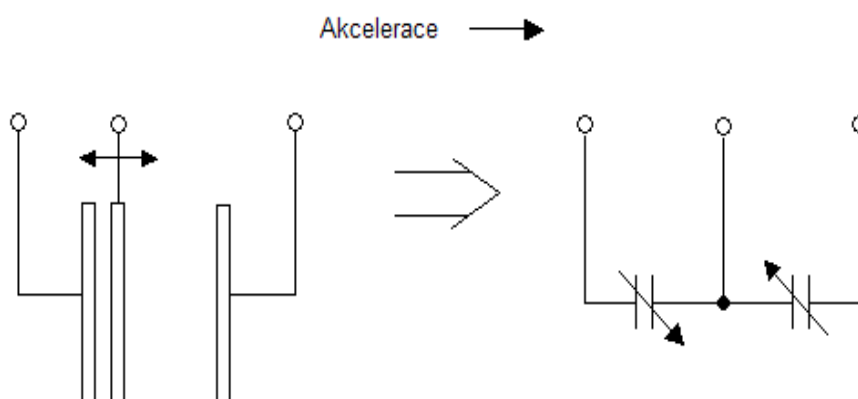


Obr. 5 Funkční blokové schéma akcelerometru MMA2260D

3.2.3 Princip funkčnosti MMA2260D

Akcelerometr je záměrně sestaven ze dvou plošných mikropočítačů kapacitně obsahových (přehledných) článků g-cell a signálu určujícího ASIC, obsažený v samotném (jednotlivém) celkovém obvodovém komplexu. Obsažené prvky jsou hermeticky utěsněny (v těsnícím kotoučku = membrána) v membráně vodováhy – (nivelačního přístroje), kde fungující rozměr (množství, objem, velikost) mikropočítače je víčko membrány. G-cell je

mechanická struktura, vytvořená z polovodičových materiálů (postiliónů) užívajících polovodičových postupů (přezbrojování a leptání). Může to být vytvořeno jako řada (komplet) svazků připojených k pohyblivé centrální hmotě, které se pohybují mezi dvěma pevnými svazky. Pohyblivé svazky mohou být odchýlené z jejich klidové polohy do závislosti systému na akceleraci, zobrazené na **obr. 6**. Jako svazky připevněné k pohyblivé centrální pohybující se hmotě, přičemž vzdálenost z nich do pevných svazků na jednu stranu bude vzrůstat stejným množstvím, stejně tak vzdálenost pevných svazků na druhé straně bude klesat. Tato změna na vzdálenosti je míra akcelerace [4]. G-cell svazky tvořené dvěma (zpátky zpátky, back to back) kapacitami zobrazenými také na obr. 4.3. Jako centrální svazek pohybující s akcelerátorem (urychlovačem), tato vzdálenost mezi svazky se mění a každá jiná zaznamenaná hodnota na kapacitě bude změřena, $C = A\epsilon / D$. Kde A je plocha svazků, ϵ je neelektrická konstanta a D je vzdálenost mezi svazky. ASIC užívá technického spínače kapacitoru do rozsahu g-cell kapacitorů a vypisuje data akcelerátoru z rozdílu mezi dvěma kapacitami. ASIC také signalizuje stav a filtrování signálu, vysoké hladiny výkonu napětí je poměr metrický a úměrný k akcelerometru.

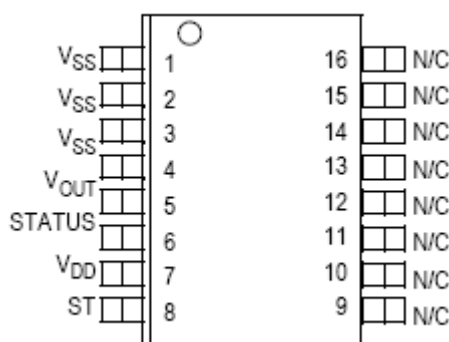


Obr. 6 Princip a způsob akcelerace

3.2.4 Rozložení pinů akcelerometru

Rozložení jednotlivých pinů akcelerometru MMA2260D je zobrazeno na **obr. 7**. Již z obrázku je zřejmé že nejvíce důležité a používané piny jsou 1-8, také rozdíly od mikrokontroleru využívá každý s pinů jen jednu jedinou funkci.

Obr. 7 Rozložení pinů akcelerometru



3.2.5 Vybrané parametry akcelerometru

Charakteristika	Symbol	Min.	Dop.	Max.	Jednotka
Provozní rozsah					
Napětí zdroje	Vdd	2.2	3.3	3.6	V
Proud zdroje	Idd	-	500	800	mikroA
Proud zdroje při režimu spánku	Idd	-	3	10	mikroA
Provozní teplotní rozsah	Ta	-20	-	+85	stupeň Celsia
Akcelerační rozsah, X, Y, Z osa					
g-select1 & 2:00	gfs	-	+2.5	-	g
g-select1 & 2:10	gfs	-	+3.3	-	g
g-select1 & 2:01	gfs	-	+6.7	-	g
g-select1 & 2:11	gfs	-	+10	-	g
Výstupní signál					
Citlivost					
2,5g	S2.5g	444	480	516	mV/g
3,3g	S3.3g	333	360	387	mV/g
6,7g	S6.7g	167	180	193	mV/g
10g	S10g	111	120	129	mV/g
Šířka pásma odezvy					
XY	f-3dB	-	350	-	Hz
Z	f-3dB	-	150	-	Hz
Šum					
RMS(0,1Hz-1KHz)	nrms	-	4.7	-	mVrms
Energie horní časové odezvy	Tresponse	-	1.0	2.0	ms
Aktivní časová odezva	Tenable	-	0.5	2.0	ms
Snímání elementů odezvy f					
XY	Fgcell	-	6.0	-	kHz
Z	Fgcell	-	3.4	-	kHz
Vnitřní vzorkovací frekvence	Fclk	-	11	-	kHz
Výst. stav provozní hodnoty plná stupnice výstupního rozsahu	Vfso	Vss+0.25	-	Vdd-0.25	V

Tab. 1 Důležité parametry akcelerometru

Důležité parametry akcelerometru, které jsou uvedeny v **Tab.1**, jsou specifické právě pro vhodně zvolený akcelerometr firmy Freescale použitý v zadání bakalářské práce. V následujícím textu jsou uvedeny jedny z nejdůležitějších parametrů, na který byl brán ohled a podle kterých byl akcelerometr vybrán právě pro řešení celého projektu. Ve výběru akcelerometru je pouze rozdíl v počtu os zaznamenávající a měřící akceleraci, vybraný akcelerometr MMA2260D snímá akceleraci pouze jednou osou a to osou X.

Nejdůležitější hodnoty pro výběr akcelerometru MMA2260D jsou uvedeny pro optimální (doporučené) hodnoty jednotlivých parametrů, viz **Tab. 2**:

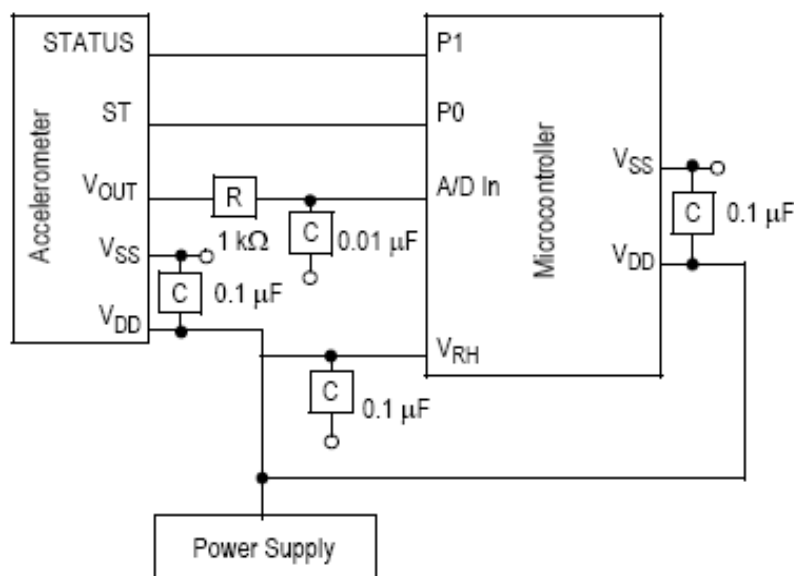
<u>Provozní rozsah:</u>	Hodnoty:
Napětí zdroje (VDD)	3.3 V
Proud zdroje (IDD)	500 μ A
Provozní teplotní rozsah (Ta)	-20 až +85 °C
Vnitřní vzorkovací frekvence (Fclk)	11 kHz
<u>Výstupní signál:</u>	Hodnoty:
Citlivost 2.5g	480 mV/g
Citlivost 3.3g	360 mV/g
Citlivost 6.7g	180 mV/g
Citlivost 10g	120 mV/g

Tab. 2 Vybrané parametry akcelerometru

3.2.6 Elektrický výboj (ESD)

Tato součástka je velice citlivá na elektrostatické výboje. Ačkoliv však volná stupnice akcelerometru obsahuje vnitřní chránění obvodu 2000V ESD, musí být kladena velká opatrnost uživatele na vznik elektrostatických výbojů. Náboj nad 2000V může akumulovat tělo obalu nebo sdružený test zařízení. Náboj, blížící se k této hodnotě může ovlivnit a měnit provozní hodnotu nebo být příčinou poruchy integrovaného obvodu, až celého akcelerometru. Bezpečnostní opatření má plnit úlohu vyhnutí elektrostatického výboje, které ovlivní provozní funkčnost.

3.2.7 Propojení akcelerometru MMA2260D a mikrokontroleru MC68HC908GP32



Obr. 8 Propojení akcelerometru a mikrokontroleru

Podle **obr. 8** je zřejmé, jak propojit akcelerometr MMA2260D s mikrokontrolerem MC68HC908GP32 a jaké použít pro zapojení dílčí hodnoty použitých prvků a součástí.

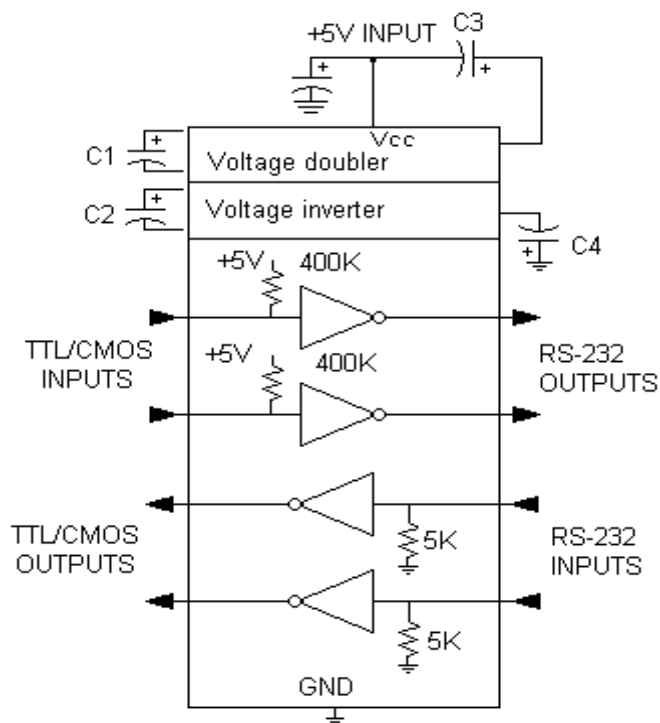
Výstupní svorka akcelerometru (Vout), která udává výstupní hodnoty napětí úměrné akceleraci je připojena na pin mikrokontroleru 27, pod označením PTB4, kde je dále mikrokontrolem signál zpracován vhodně zvoleným a naprogramovaným softwarem. Toto zapojení je realizováno přes rezistor s odporovou hodnotou $R = 1 \text{ k}\Omega$ a přes vazební kondenzátor $C = 0.01 \text{ }\mu\text{F}$. Dále vstupní svorky napájecího napětí akcelerometru (VSS) a (VDD) jsou také přemostěny kondenzátorem, ale s hodnotou $C = 0.1 \text{ }\mu\text{F}$ a společně se svorkou mikrokontroleru (VRH) také připojeny k vazebnímu kondenzátoru $C = 0.1 \text{ }\mu\text{F}$. Stejně tak u mikrokontroleru jsou vstupní svorky napájecího napětí přemostěny kondenzátorem o hodnotě $C = 0.1 \text{ }\mu\text{F}$.

3.3 Převodník napět'ových úrovní

Pro naprogramování mikrokontroleru a pro úspěšnou práci celého zařízení je zapotřebí jej propojit s vnějším počítačem (PC), kterým určitý vhodný software může být naprogramován do již zmiňovaného mikrokontroleru. K tomuto propojení je určen sériový port COM, jelikož port COM je navržen ve standardu RS-232 je nutné použít převodník napět'ových úrovní, pro tento převodník můžeme použít MAX232 [6].

3.3.1 MAX232 nahrazen za MC145407

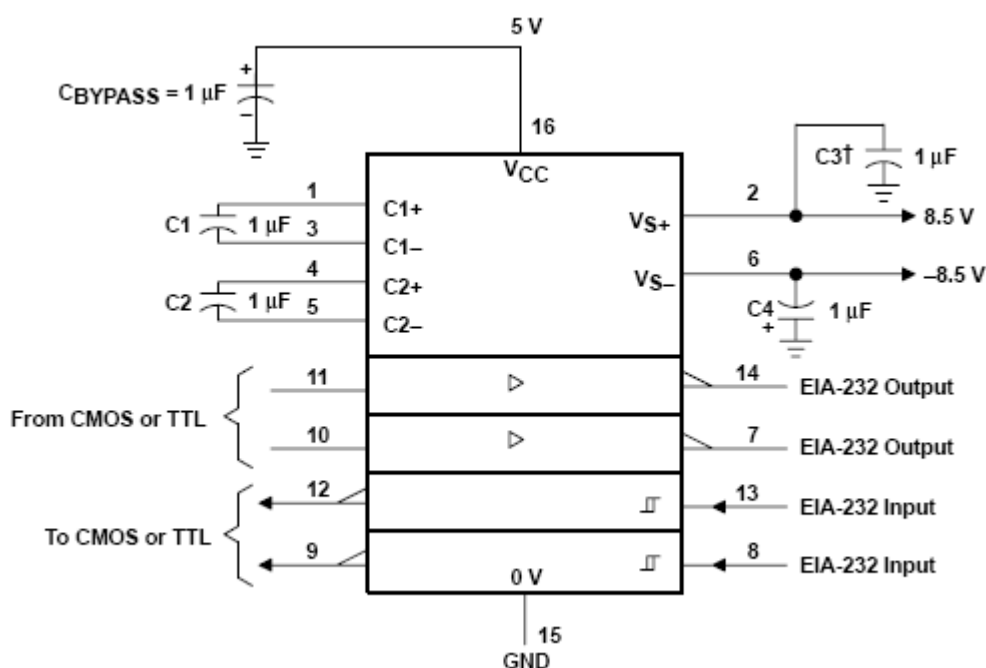
V zapojení je využit MC145407 k propojení a následné komunikaci již zmiňovaného MC74HC125 a rozhraní pro sériovou komunikaci RS-232. Z důvodu nemožného sehnání tohoto převodníku bylo nutné nahradit tuto součástku za podobný a dostupný převodník MAX232. MAX232 je levný a velmi používaný převodník úrovní RS-232 (sériová linka) na TTL (standard používaný pro implementaci digitálních, logických integrovaných logických obvodů) úrovně. Jeho nespornou výhodou je, že potřebuje pouze jeden zdroj napětí a to +5V, nikoliv +15,-15,+5 jako některé jiné převodníky. Obsahuje 2 převodníky TTL->RS232 a 2 převodníky RS232->TTL. Jeho uplatnění je všude tam, kde je třeba připojit zařízení s nízkým napájecím napětím na sériovou linku. Způsob převodu těchto úrovní je možné vidět na **obrázku 9**.



Obr. 9 Zapojení obvodu MAX232

3.3.2 Zapojení vhodné pro MAX232

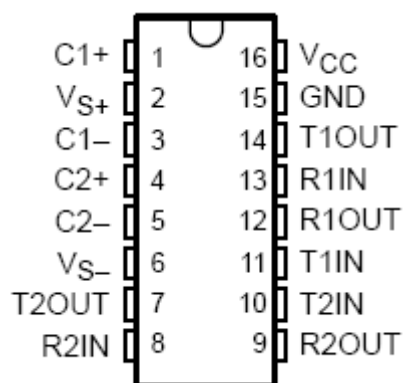
Také je zde zobrazeno rozvržení jednotlivých pinů převodníku MAX232 [6], viz **obr. 10**. Pro naše zapojení jsou použity piny 1-3, 4-5, které jsou přemostěny elektrolytickým kondenzátorem o kapacitě $1\ \mu\text{F}$ a také piny 11, 12 určené pro komunikaci s IO MC74HC125 a piny 13, 14, které zajišťují naopak komunikaci s RS-232.



Obr. 10 Převod úrovní RS-232 na TTL

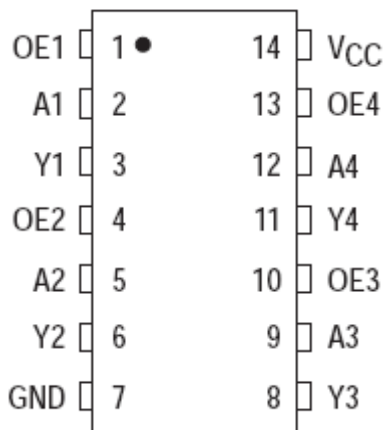
Na **obr. 11** je zobrazeno jednotlivé rozložení a označení všech pinů převodníků úrovní MAX232.

Obr. 11 Rozvržení pinů převodníku MAX232



3.4 Invertory obvodu MC74HC125

MC74HC125 má identické piny s LS125 a LS 126. Vstup přístroje je kompatibilní se standardními CMOS výstupy, s nízkým rezistorem kompatibilní s LSTTL výstupy [5]. Obvod 74HC125 slouží jako 4 stavový neinvertující oddělovač (komparátor).

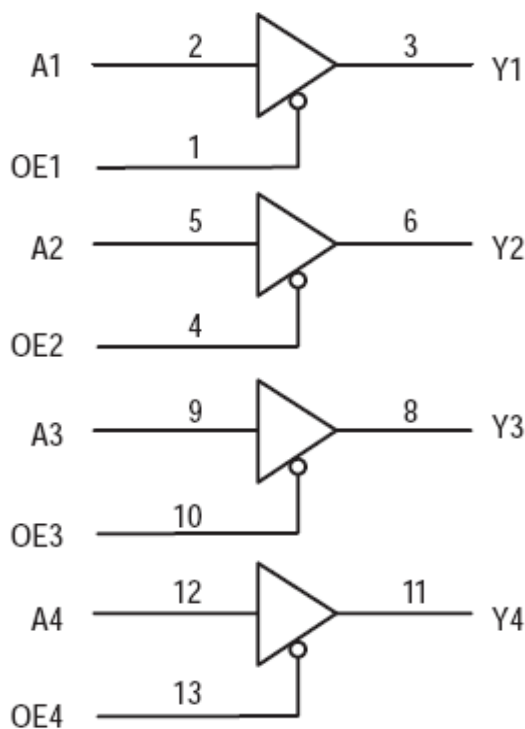


Obr. 12 Rozložení pinů MC74HC125

3.4.1 Vnitřní uspořádání MC74HC125

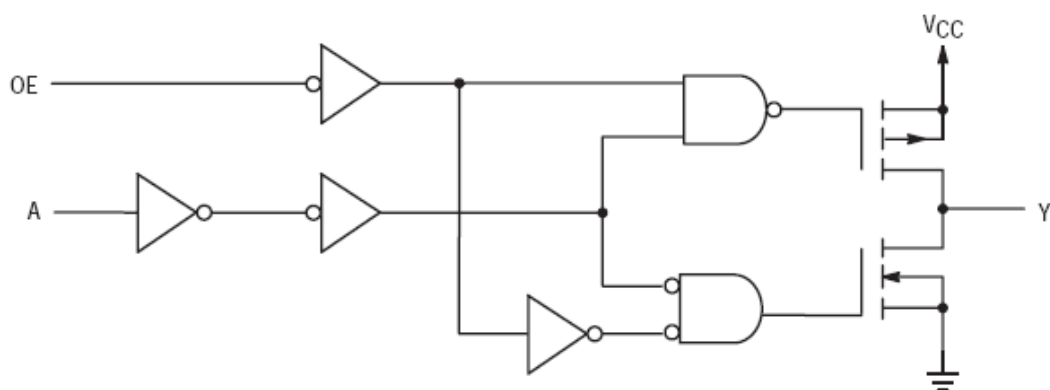
Na obr. 12 je ukázáno rozložení pinů IO MC74HC125, ale v použitém zapojení se využívá pouze prvních sedmi pinů a jednoho pinu určenému k napájení IO a to pinu 14-Vcc.

Obr. 13 Vnitřní zapojení MC74HC125 a)



Vnitřní uspořádání a zapojení invertorů v komparátoru MC74HC125 je zobrazeno na **obr. 13**, zároveň je zde možné přechíst, které dané piny spolu souvisí a jak tento obvod zapojit. Podrobnější vnitřní schéma sestavení a zapojení MC74HC125 je zobrazeno na **obr. 14**

Obr. 14 Vnitřní zapojení MC74HC125 b)



3.5 Propojení mikrokontroleru s PC

Pro komunikaci, ovládání a programování zapojeného mikrokontroleru je zapotřebí nějakého externího počítače, který se s tímto obvodem propojí. K tomuto propojení je zapotřebí sériový port UART – Universal Asynchronous Serial Port (asynchronní sériový port). Osobní počítače jsou vybaveny obvykle dvěma asynchronními sériovými kanály (COM1, COM2). A jejich přenos dat probíhá po vodičích TxD (výstup) a RxD (vstup). Tento sériový port jsem připojil k mikrokontroleru přes 2m dlouhý dvoužilový stíněný kabel podle daného schéma z *příloha 1*.

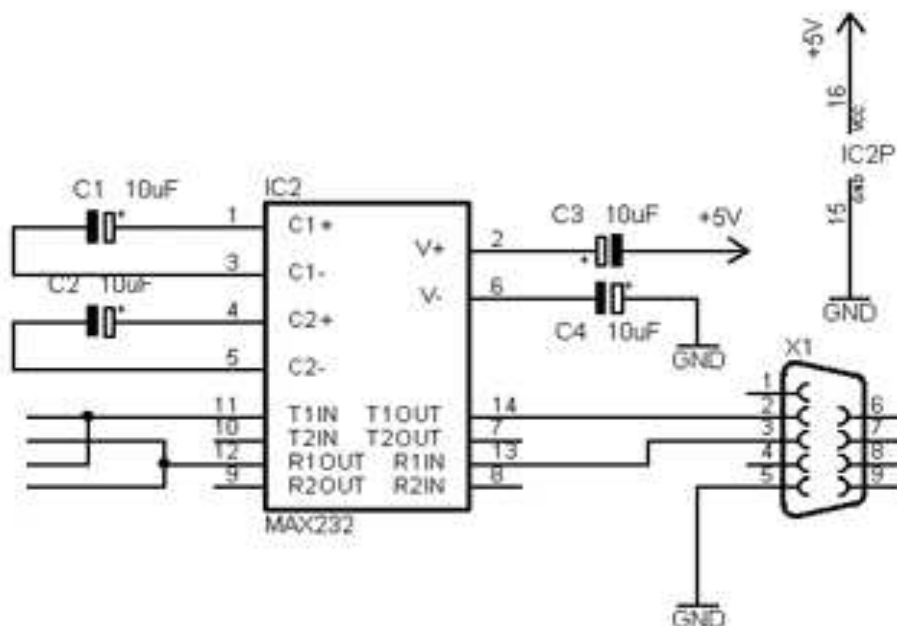
Jelikož je ale ve schématu zobrazeno zapojení sériového portu pro 25 pinů (DB-25) a v zapojení je použit port s 9 piny (DB-9), musel být brán ohled na jiné označení pinů obou dvou konektorů.

DB-25	DB-9	Řídicí signál	Název
1		x	Zemění
2	3	DTE-to-DCE	Odeslaná data
3	2	DCE-to-DTE	Přijatá data
4	7	DTE-to-DCE	Požadavek k odeslání
5	8	DCE-to-DTE	Uvolnit k odeslání
6	6	DCE-to-DTE	Nastavení dat
7	5	x	Stínění
8	1	DCE-to-DTE	Detekce přijatého signálu
20	4	DTE-to-DCE	Data k odeslání
22	9	DCE-to-DTE	Rotační indikátor

Tab. 3 Označení sériových portů

3.5.1 RS-232

Na **obr.16** je zobrazeno propojení převodníku MAX232 se sériovým portem pro komunikaci s rozhraním RS-232. Nyní již stačí port počítače propojit s portem na desce se zapojením mikrokontroleru s převodníky, rozhraním RS-232. RS232 je rozhraní pro přenos informací vytvořené původně pro komunikaci dvou zařízení do vzdálenosti 20 m. Pro větší odolnost proti rušení je informace po propojovacích vodičích přenášena větším napětím, než je standardních 5 V. Přenos informací probíhá asynchronně, pomocí pevně nastavené přenosové rychlosti a synchronizace sestupnou hranou startovacího impulsu.



Obr. 15 Schéma zapojení převodníku UART/RS-232

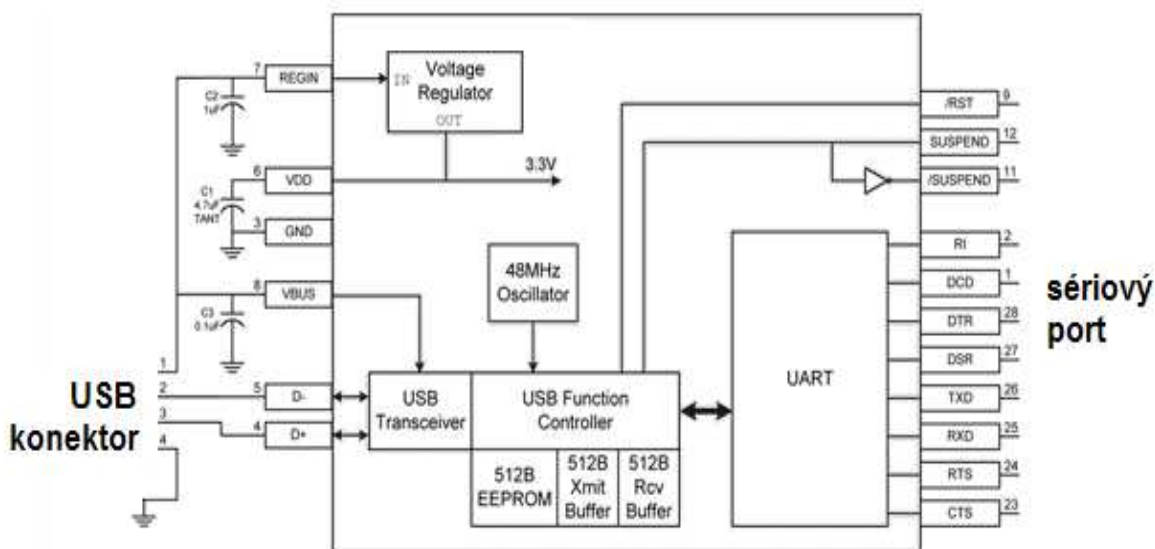
3.5.2 Převodník USB/RS-232

Takto navržené a zapojené řešení by komunikovalo s běžným stolním počítačem, který většinou obsahuje sériový port UART, ale v tomto řešení je používán přenosný počítač, který sériový port neobsahuje. Problémem dnešní doby je zánik sériových portů, které se již zcela nepoužívají a těžko se již s nimi setkáme. Pro řešení zapojení obvodu s jakýmkoliv možným počítačem bylo zvoleno převodníku mezi sériovým portem a USB portem. Tím je tedy splněna možná komunikace s jakýmkoliv dosaženým počítačem, potřebným k naprogramování užitečného softwaru. Mezi převodem signálů USB/RS-232 v obou směrech komunikace můžou sice vzniknout nějaká zpoždění než u přímé komunikace jak dvou sériových či dvou USB portů, ale v případě řešení zapojení je přenos informací dostatečně rychlý a kvalitní a jeho komunikaci tento převodník neohrožuje.

Vlastnosti převodníku USB/RS-232:

- Pevný kabel na straně USB (může být osazen i konektor)
- Galvanické oddělení USB od linky RS232
- Přenos všech signálů linky RS232
- Přenosová rychlost až 1 Mb/s
- Napájení z rozhraní USB
- Indikace napájení

U nových notebooků i u některých nových počítačů je pravidlem, že chybí sériový port, v lepším případě existuje pouze jeden. Protože sériová linka RS232 se pro přenos dat z mnoha zařízení stále používá, řeší se často absence sériových portů převodníky rozhraní USB na linku RS232. Na **obr. 16** je zobrazeno blokové schéma převodníku USB/RS-232.



Obr. 16 Blokové schéma zapojení převodníku USB/RS-232

Rozhraní UART obsažené v převodníku poskytuje všechny signály, které jsou v rozhraní RS-232, včetně signálů ovládacích a handshaking, což umožňuje použít stávající programové vybavení určené pro práci s portem COM. Nabízená kombinace UART tak poskytuje vše, co je vyžadováno pro snadný přechod stávajících aplikací z rozhraní RS-232 na USB.

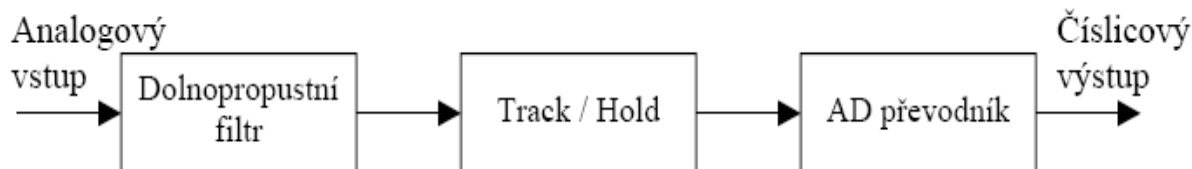
4 Návrh ovládacího softwaru

Tato kapitola se zejména zabývá vlastním programováním zařízení, jakožto návrhu ovládacího softwaru a následné realizaci programování. Dále se zabývá řešením přímé komunikace mezi již zmíněnými komponenty a následnou realizací sloučením všech komponentů v jeden funkční celek a tím umožnit měření pohybu izolovaného srdce. Zabývá se také zobrazením zaznamenaného pohybu izolovaného srdce.

4.1 Řešení komunikace

4.1.1 A/D převodník

Řešení komunikace mezi akcelerometrem a mikrokontrolerem pomáhá usnadnit převodník analogového signálu z výstupu akcelerometru na číslicově zpracovaný signál dodávaný ke zpracování mikrokontroleru [7]. Mikrokontroler je číslicové (digitální) zařízení a chceme-li, aby toto zařízení bylo schopno zpracovávat analogové signály, pak je výhodné, obsahuje-li toto zařízení technický prostředek (převodník) umožňující převést hodnotu analogového signálu v daném čase do číslicové (digitální) podoby, tzv. vzorku. Takovýto prostředek bývá označován pojmem analogově-číslcový převodník nebo AD (z anglického analog to digital) převodník.



Obr. 17 Systém analogově-číslcového převodu

Obecný systém provádějící A/D převod je možné považovat za systém složený ze tří bloků, viz **Obr. 17**. Jelikož většina A/D převodníku vyžaduje, aby analogový signál zůstal během provádění A/D převodu nezměněn, bývá A/D převodníku předřazen obvod typu Track/Hold, tj. obvod, který je schopen zjistit a uchovat hodnotu sledované analogové veličiny do doby než bude A/D převod dokončen. Pro správné navzorkování analogové veličiny musí být zajištěno, aby dle Shanonova vzorkovacího teorému platilo, že vzorkovací kmitočet A/D převodníku musí být alespoň 2x větší než nejvyšší kmitočet obsažený ve vzorkovaném analogovém signálu. V opačném případě může dojít k tzv. aliasingu. Proto bývá obvodu Track/Hold předřazen ještě filtr typu dolní propust, jehož úkolem je z analogového signálu odfiltrovat nežádoucí vysokofrekvenční složky s cílem snížit možnost chybného navzorkování na minimum.

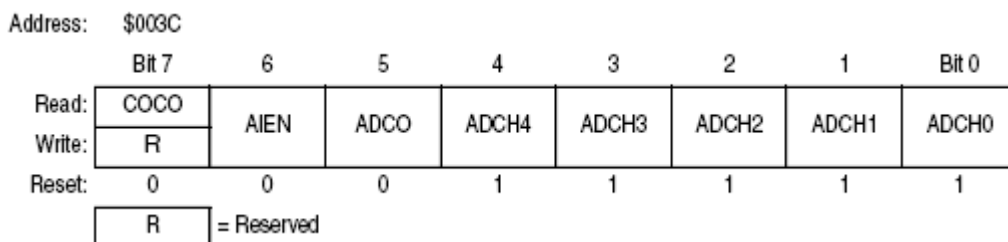
4.1.2 Software A/D převodníku

Nastavení parametrů, popřípadě zjištění stavu A/D převodu je možno provést pomocí registrů:

ADSCR – stavový a řídicí registr A/D převodu (angl. A/D status and control registr)

ADCLK – registr pro časování A/D převodu (angl. A/D clock registr)

ADSCR registr: Zápisem do registru ADSCR bude ukončen aktuální A/D převod a poté zahájen nový převod. Z **Obr. 18** je zřejmé označení a rozložení jednotlivých bitů registru ADSCR.



Obr. 18 Označení bitů registru ADSCR

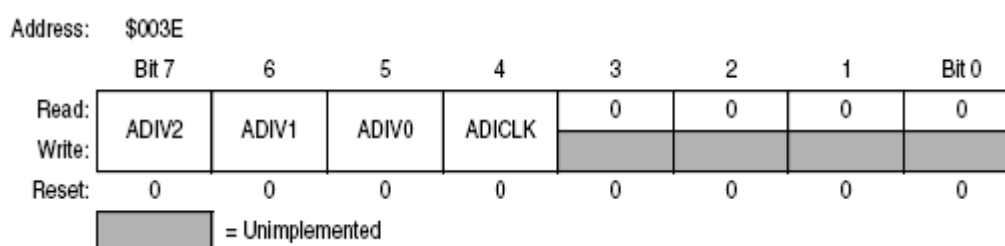
Význam jednotlivých bitů registru ADSCR:

- COCO (Conversion Completed bit): Pokud AIEN=0, pak COCO je „readonly“ bit, který je nastaven na 1 po každém dokončeném A/D převodu. Testováním COCO bitu je tedy možné zjistit, zda byl převod dokončen. COCO je vynulován v případě zápisu do ADSCR, ADCLK. Pokud AIEN=1, pak je po dokončení A/D převodu generováno přerušení a při čtení COCO bitu je vždy přečtena hodnota 0. Při resetu je tento bit vynulován.
- AIEN (ADC Interrupt Enable bit): pokud AIEN=1, pak po dokončení A/D převodu je generováno přerušení. AIEN je vynulován přečtením zápisem do ADSCR registru. Při resetu je tento bit vynulován.
- ADCO (AD Continuous Conversion bit): pokud ADCO=1, pak A/D převodník vzorkuje vstupní signál nepřetržitě a na konci každého převodu aktualizuje vzorek. Pokud ADCO=0, pak je uskutečněn jen jeden A/D převod. Při resetu je ADCO bit vynulován.
- ADCH4-ADCH0 (ADC Channel Select bits): pomocí těchto pěti bitů je možno zvolit, přes které A/D kanály bude probíhat vzorkování analogového signálu, viz **Tab. 4**. Pomocí šesti A/D kanálů AD0-AD5 umožňuje mikrokontroler vzorkovat až 6 nezávislých analogových signálů.

ADCH4	ADCH3	ADCH2	ADCH1	ADCH0	Input Select
0	0	0	0	0	PTB0/AD0
0	0	0	0	1	PTB1/AD1
0	0	0	1	0	PTB2/AD2
0	0	0	1	1	PTB3/AD3
0	0	1	0	0	PTB4/AD4
0	0	1	0	1	PTB5/AD5
0	0	1	1	0	PTB6/AD6
0	0	1	1	1	PTB7/AD7
0	1	0	0	0	Reserved
↓	↓	↓	↓	↓	
1	1	1	0	0	
1	1	1	0	1	V _{REFH}
1	1	1	1	0	V _{REFL}
1	1	1	1	1	ADC power off

Tab. 4 Kanály pro vzorkování analogového signálu

ADCLK registr: V tomto registru je možné nastavit kmitočet A/D převodu a způsob zarovnání vzorku.



Obr. 19 Označení bitů registru ADCLK

Význam jednotlivých bitů registru ADCLK:

- ADIV2-ADIV0 (ADC Clock Prescaler bits): pomocí těchto tří bitů je možné nastavit dělicí poměr, viz **Tab. 5**, kterým bude dělena frekvence vstupního hodinového signálu a jako výsledek získaná vnitřní frekvence hodin (měla by být v rozsahu 32kHz až 2 MHz) A/D převodníku [7].

Tab. 5 Nastavení bitů pro dělicí poměr kmitočtu

ADIV2	ADIV1	ADIV0	ADC Clock Rate
0	0	0	ADC input clock + 1
0	0	1	ADC input clock + 2
0	1	0	ADC input clock + 4
0	1	1	ADC input clock + 8
1	X	X	ADC input clock + 16

- ADICLK (ADC Input Clock Select bit): pomocí tohoto bitu je možné zvolit, zda vstupním hodinovým signálem pro získání vnitřního hodinového signálu A/D převodníku bude použit hodinový signál sběrnice (ADICLK=1) nebo externí hodinový signál CGMXCLK (ADICLK=0). Je-li kmitočet CGMXCLK ≥ 1 MHz, pak je CGMXCLK možné použít přímo, jinak je nutno tento kmitočet zvýšit pomocí PLL obvodu alespoň na 1 MHz.

4.1.3 Doba A/D převodu

A/D převod začíná poté, co je do ADSCR registru zapsaná hodnota. Převod trvá 16 (17) taktů A/D převodníku, tedy doba převodu = počet taktů AD převodu / kmitočet AD převodníku [s]. Doba převodu je určena jednak zdrojem hodin a jednak zvoleným dělicím poměrem. Zdrojem hodin je možno zvolit buď hodiny sběrnice nebo CGMXCLK. Dělicí poměr je možné nastavit pomocí bitů ADIV2-ADIV0 ve stejném registru.

4.1.4 Nepřetržitý A/D převod

Pokud A/D převodník pracuje v režimu nepřetržitého A/D převodu, pak je následující A/D převod zahájen automaticky a bezprostředně po dokončení předchozího A/D převodu. V tomto režimu A/D převodník setrvá dokud je bit ADCO v registru ADSCR nastaven na 1. Po dokončení převodu je:

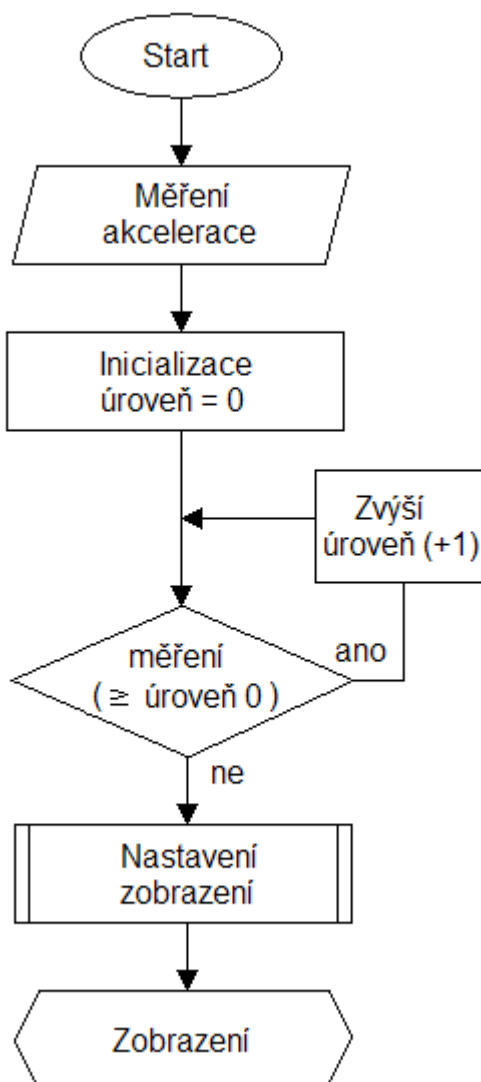
- vzorek z předchozího A/D převodu přepsán vzorkem z právě dokončeného převodu bez ohledu na to, zda předchozí vzorek byl či nebyl přečten a nějak zpracován.
- COCO bit v registru ADSCR nastaven na 1, tento bit je možné vynulovat přečtením vzorku nebo zápisem do registru ADSCR

4.2 Komunikační software

4.2.1 Řídící software

Programový software pro komunikaci mezi akcelerometrem, mikrokontrolerem a zobrazovacím zařízením byl navrhnut a odladěn ve vývojovém prostředí WinIDE Development Environment. Algoritmus programu pro řídící mikrokontroler je naznačen na **Obr. 20**. Tento algoritmus představuje chod celého programu od zpracování výstupního napětí úměrné akceleraci akcelerometru až po zobrazení výstupních hodnot, které jsou převodníkem A/D a následným zpracováním mikrokontroleru zaznamenávány. K zobrazovacímu zařízení bylo použito dvou sedmisegmentových displayů.

Obr. 20 Algoritmus programu pro řídící mikrokontroler



4.2.2 Popis vytvořeného softwaru

Výstupní napětí akcelerometru, které je úměrné jeho akceleraci a je přivedeno k řídicímu mikrokontroleru je možné změřit a zjistit tak, že maximální výstupní napětí úměrné akceleraci je 3V a jeho minimální výstupní hodnota je 1V hodnota. V tomto rozmezí se pohybují a mění hodnoty tohoto výstupního napětí podle polohy akcelerometru v měřené ose X. Akcelerometr vykazuje v rovnovážné poloze hodnotu napětí přibližně rovnou 2V, kterou tak můžeme i považovat za střední hodnotu výstupního maxima a minima. Toto napětí je přivedeno na vstupní svorky mikrokontroleru, respektive v hlavní části programu je nastaven registr ADSCR na hodnotu #44, což znamená, že vstupní svorka mikrokontroleru, která bude zaznamenávat výstupní napětí akcelerometru pinu portuB a to pin PTB4 (číselně pak 27). Na tomto stejném pinu byl pomocí již zmíněných registrů inicializován převod analogového signálu na číslicový signál. Stejně tak byla provedena inicializace mikrokontroleru a nastavení jednotlivých rozhraní a parametrů, jakožto hodnoty určené promikrokontrolerem HC908GP32 jako jsou adresy ukládání programu, zvolené zpoždění mezi jednotlivým porovnáním vstupních hodnot napětí z akcelerometru. Dále bylo zapotřebí inicializovat vstupně výstupní port, kde vstupní hodnota je již zmíněný PTB4.

Jako zobrazovací zařízení bylo zvoleno dvou sedmissegmentových displayů, první display bude zobrazovat hodnoty výstupního napětí menší než je střední hodnota maximálních a minimálních hodnot výstupních napětí a druhý display bude zobrazovat hodnoty větší než je střední hodnota mezi maximem a minimem výstupních hodnot. Pro toto zobrazování byly použity piny mikrokontroleru a to pro první display: PTB0, PTB1, PTB2, PTB3, PTB6, PTB7, PTA1 a pro druhý zobrazovací display piny: PTA2, PTA3, PTA4, PTA5, PTA6, PTC2, PTC4. Z tohoto důvodu program obsahuje nastavené hodnoty rozdělené úměrně podle akcelerace a změřeného napětí, pomocí jednotlivých instrukcí je tak nastavena maximální hodnota, minimální hodnota a střední hodnota. V každé polovině od střední hodnoty do minima a maxima je rozsah rozdělen stejným poměrem na 7 dílčích úrovních.

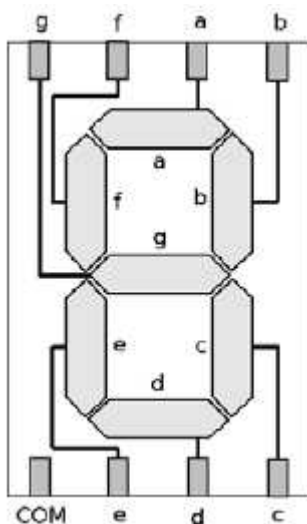
Jestliže mikrokontroler dostane signál o informaci velikosti výstupního napětí akcelerometru převedenou A/D převodníkem, porovná tyto hodnoty s nastavenými úrovněmi, každá tato úroveň odpovídá ve skutečnosti zobrazené číslici od 0 do 9 na sedmissegmentovém display. Bude-li akcelerometr v rovnovážné poloze, bude tedy program porovnávat s úrovněmi hodnotu odpovídající střední hodnotě výstupního napětí. Jestliže se bude úroveň rovnat této hodnotě, přejde program do podprogramu pro nastavení hodnot jednotlivých pinů a tím zobrazení číslice na display. Pro rovnost úrovně a výstupního napětí bude tedy podprogramem určen stav 0, což znamená, že se nastaví odpovídající piny pro jednotlivé segmenty a zobrazí se.

Program obsahuje instrukci skoku zpět z podprogramu do hlavního programu, takže po zpoždění určenému k nastavení zobrazené hodnoty se vrátí zpět na návěští začátku hlavního programu, kde se porovná znovu převedená hodnota akcelerace, opět je tato nová hodnota porovnávána s nastavenými úrovněmi a pokud dojde ke změně oproti předchozí hodnotě, znamená to, bude-li větší nebo menší, opět program přejde do podprogramu zobrazení a nová hodnota se tak přepíše a zobrazí, zůstane-li hodnota stejná, program porovnává opět novou hodnotu napětí úměrné akceleraci převedené na číslicový signál.

4.3 Zobrazení komunikace

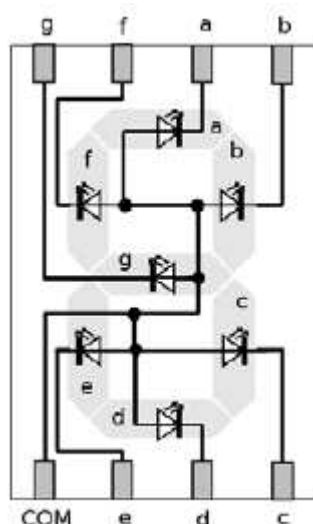
4.3.1 Segmentový LED display

Segmentovka se skládá ze 7 LED („segmentů“), které bývají obvykle označeny písmeny a-g. Kvůli úspoře vývodů jsou obvykle anody (katody) všech segmentů spojeny a vyvedeny na společný vývod COM v rozhraní segmentovky a zbylý vývod, tj. katoda (anoda) každého segmentu je vyveden na samostatný vývod v rozhraní, viz **Obr. 21**. Chceme-li rozsvítit daný segment, musíme zajistit, aby příslušná LED byla v propustném směru, tj. zajistit vhodné napětí mezi vývodem daného segmentu v rozhraní segmentovky a vývodem COM v rozhraní segmentovky [7]. Chceme-li např. rozsvítit všechny segmenty na segmentovce se společnými katodami, přivedeme na COM zem napájecího napájecího zdroje a na každý z vývodů a-f přivedeme +5V. U displaye se společnými anodami bude napájecí napětí opačné, tj. +5V na COM vývodu a zem na vývodech a-f.



Obr. 21 7 segmentový display

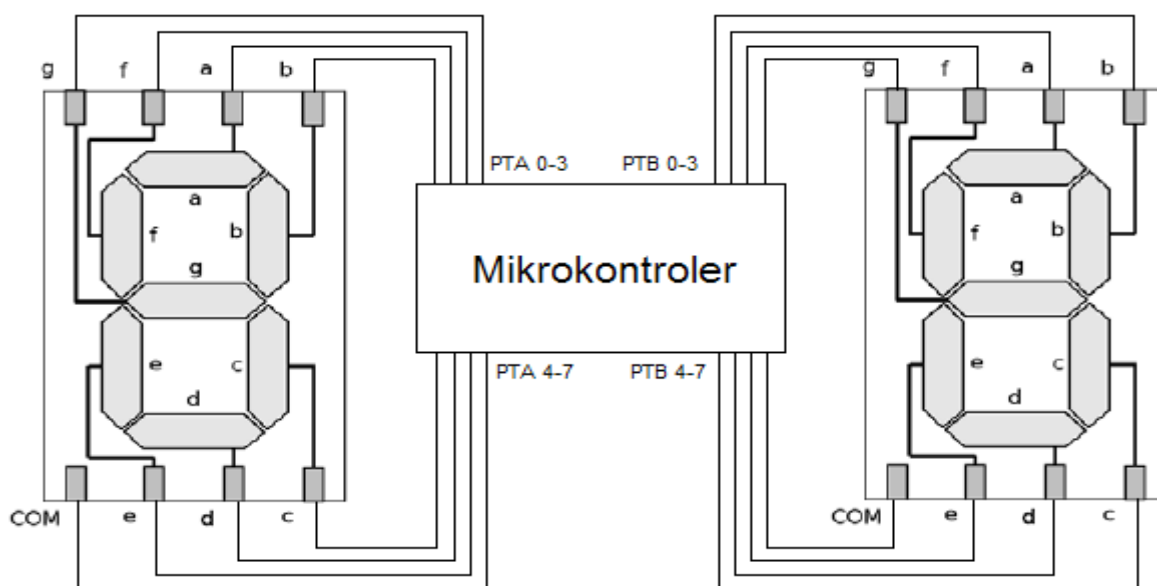
V zapojení je zvoleno dvou 7 segmentových displayů se společnými anodami, zobrazené zapojení na **Obr. 22**, to znamená že logické 0 odpovídá napětí +5V a logické 1 odpovídá napětí 0V. Pak můžeme obsah segmentovky ovládat 8 bitovými hodnotami přiváděnými na vývody COM, a, b, c, d, e, f, g. Chceme-li na segmentovce zobrazit číslici 0, pak potřebujeme rozsvítit segmenty a, b, c, d, e, f, což zajistíme přivedením logické 1 na COM, logické 1 na vývod segmentu g a logické 0 na vývody segmentů a, b, c, d, e, f, tj. přivedením bytu 11000000b (1-COM, 1-g, 0-f, 0-e, 0-d, 0-c, 0-b, 0-a) na rozhraní segmentovky.



Obr. 22 Zapojení displayů se společnou anodou

Pro zapojení segmentových displayů s mikrokontrolerem je zapotřebí využít jednotlivých volných pinů mikrokontroleru, které budou při každé změně hodnoty napětí přivedené z výstupu akcelerometru zobrazovat i změnu číselné hodnoty, jestliže hodnota napětí úměrné akceleraci bude menší než střední hodnota akcelerace a stále se měnit k minimálním hodnotám, bude display umístěný na levé straně zapojení zobrazovat číslice od 0 do 9. Jestliže ale bude napětí úměrné akceleraci větší než tato střední hodnota a nadále se bude naopak zvyšovat k maximálním hodnotám, bude na levém display stav 0 a na straně pravého displaye se budou zobrazovat číslice od 0 do 9. Můžeme tak tedy pozorovat změnu akcelerace, představující pohyb izolovaného srdce, ale i velikost snímaného bohybu, tedy jeho akcelerace.

Obr. 23 Zapojení zobrazovacího zařízení s mikrokontrolerem



5 Závěr

Projekt zpracování zadané Bakalářské práce spočívá i ve vypracování předchozích souvisejících projektů. V pokynech pro vypracování celé práce je uvedeno prostudovat možnosti měření pohybu pomocí akcelerometru včetně možnosti propojení s mikrokontrolerem, což bylo zpracováno v Semestrálním projektu 1 a poznatky obhájeny u vedoucího projektu. V další části zadání bylo úkolem navrhnout hardwarové propojení akcelerometru a mikrokontroleru včetně software, které bylo opět vypracováno v Semestrálním projektu 2, zpracování bylo obhájeno u odborné komise. Tyto projekty jsou součástí zpracování bakalářské práce a chybné nebo neúplné jejich zpracování by vedlo i k nezdařilému vypracování Bakalářské práce. Jejím zadáním je provést celkový návrh zařízení, které umožňuje měřit pohyb izolovaného srdce. Jelikož návrh zapojení a zvolení vhodných komponentů bylo zvoleno v prvním projektu a následné propojení akcelerometru a mikrokontroleru v následujícím projektu, stačilo tedy vytvořit vhodný software a upravit vše v jeden funkční celek. Jelikož pocelkovém návrhu, zpracování a sestavení navrhnutého zapojení i software zařízení po změně pohybu izolovaného srdce zaznamenává jeho akceleracia zobrazuje jej na daném zařízení, můžeme tímto usoudit, že bylo zadání úspěšně splněno a měřením tohoto pohybu můžeme ověřovat funkčnost vytvořeného zařízení.

6 Použitá literatura

- [1] VÁŇA V. Začínáme s mikrokontroléry HC08 Nitron, první vydání, Praha , BEN, 2003, 96 stran + CD ROM, ISBN 80-7300-124-1.
- [2] PEČHAL S. Monolitické mikropočítače. 2.vyd. Praha: BEN – technická literatura, 1998. ISBN 80-86056-30-9
- [3] MC68HC908GP32 Data Sheet Rev. 7 [Dokument PDF], Freescale, 2006.
Dostupné na WWW: <http://www.freescale.com>
- [4] MMA2260D Technical Data Rev. 3 [Dokument PDF], Freescale, 2006.
Dostupné na WWW: <http://www.freescale.com>
- [5] MC74HC125 Data Sheet [Dokument PDF], On Semiconductor, 2002
Dostupné na WWW: <http://www.datasheetcatalog.com>
- [6] MAX232 Data Sheet [Dokument PDF], On Semiconductor, 2002.
Dostupné na WWW: <http://www.datasheetcatalog.com>
- [7] SCHWARZ J, RŮŽIČKA R, STRNADEL J. Mikroprocesorové a vestavěné systémy, první vydání , VUTBrno, FIT, 2005.

Seznam obrázků:

Obr. 1 Blokové schéma zapojení.....	9
Obr. 2 Blokové schéma zapojení se zobrazovacím zařízením	10
Obr. 3 Blokové schéma mikrokontroleru MC68HC908GP32	12
Obr. 4 Rozložení pinů mikrokontroleru	13
Obr. 5 Funkční blokové schéma akcelerometru MMA2260D	18
Obr. 6 Princip a způsob akcelerace	19
Obr. 7 Rozložení pinů akcelerometru	19
Obr. 8 Propojení akcelerometru a mikrokontroleru	22
Obr. 9 Zapojení obvodu MAX232	23
Obr. 10 Převod úrovní RS-232 na TTL.....	24
Obr. 11 Rozvržení pinů převodníku MAX232.....	24
Obr. 12 Rozložení pinů MC74HC125.....	25
Obr. 13 Vnitřní zapojení MC74HC125 a).....	25
Obr. 14 Vnitřní zapojení MC74HC125 b)	26
Obr. 15 Schéma zapojení převodníku UART/RS-232	28
Obr. 16 Blokové schéma zapojení převodníku USB/RS-232	29
Obr. 17 Systém analogově-číslicového převodu	30
Obr. 18 Označení bitů registru ADSCR.....	31
Obr. 19 Označení bitů registru ADCLK	32
Obr. 20 Algoritmus programu prořídící mikrokontroler	34
Obr. 21 7 segmentový display	36
Obr. 22 Zapojení displayů se společnou anodou.....	37
Obr. 23 Zapojení zobrazovacího zařízení s mikrokontrolerem.....	37

Seznam tabulek:

Tab. 1 Důležité parametry akcelerometru	20
Tab. 2 Vybrané parametry akcelerometru	21
Tab. 3 Označení sériových portů.....	27
Tab. 4 Kanály pro vzorkování analogového signálu	32
Tab. 5 Nastavení bitů pro dělicí poměr kmitočtu	32

